

龙岩新一代天气雷达 重大科研课题论文集

童以长 主 编

张治洋 副主编
邱炳炎



气象出版社

内 容 提 要

本书选编了科技人员在课题研究和业务实践中撰写的论文 25 篇。其中,新一代天气雷达(CINRAD/SA)资料在强对流天气预报中的应用 6 篇;天气分型、物理量诊断 3 篇;在暴雨预报中的应用 4 篇;在三维风场反演中的应用 1 篇;在估测降水中的应用 1 篇;在探测台风中的应用 3 篇;在人工增雨中的应用 6 篇;软件开发 1 篇。论文是应用新一代天气雷达的研究成果,科学性、实践性强,使用价值较高。

本书可供气象科研、科技人员以及相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

龙岩新一代天气雷达重大科研课题论文集/童以长主编.
—北京:气象出版社,2004.12
ISBN 7-5029-3893-1

I. 龙… II. 童… III. 气象雷达—文集
IV. TN959.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 127176 号

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcs@263.net

责任编辑:苏振生 终审:周诗健

*

北京市北中印刷厂印刷

气象出版社发行

*

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:10 字数:243 千

2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月第一次印刷

印数 1~1000 定价:33.00 元

本书如存在文字不清,漏印以及缺页、倒页、脱页等,
请与本社发行部联系调换

序 言

龙岩气象雷达站座落于闽西高山之巅,海拔 1486.9m 的红尖山上,是我国最早布网建设的新一代多普勒天气雷达之一,也是福建省中尺度灾害性天气预警系统二期工程的重点项目。为探索新型天气雷达系统如何适应恶劣环境与正常运行的技术要求,龙岩市气象局把高山雷达建设与科研有机地结合起来,组织“新一代多普勒天气雷达(CINRAD/SA)系统高山环境研究”项目攻关,采取了多学科的先进技术,成功地解决了 CINRAD/SA 系统高山运行环境雷达站址环境、电磁环境、防雷系统、通信系统、供电系统等建设中的关键性技术难题,确保了雷达系统实现“遥控、遥测、遥传”,充分发挥了新一代多普勒天气雷达对灾害性天气的监测预警能力,使我省大气探测步入全国领先水平。该项目荣获 2002 年福建省科技进步三等奖,龙岩市科技进步一等奖。

作为地处华南与华东区交汇地带的龙岩气象雷达站,既对台风有很强的警戒预警能力,又对西风带系统、华南暴雨、短期雷雨大风、冰雹等强对流天气进行有效监测。自 2001 年 7 月试运行以来,对发生于探测区内的所有强对流天气、暴雨、台风等,雷达均进行全程跟踪探测,积累了宝贵的资料,提供了及时的情报和短时预报服务,特别是对 2001 年 9 月 20 日第 16 号台风“百合”死而复生、登陆汕头的跟踪监测和成功预警的范例,为我省及其邻近的赣南、粤东等地的防灾减灾发挥了现代化技术装备的巨大作用,取得了显著的社会经济效益。

通过近 3 年对新型天气雷达的应用实践,龙岩市气象局意识到:新一代多普勒天气雷达虽然是先进的预报硬件设备,可生成众多探测产品,但要进一步发挥在监测灾害性天气中的作用,必须建设以新一代多普勒天气雷达为基础的短时预报警报业务系统,对雷达产品的应用进一步完善和拓展。因此,龙岩市气象局申请了福建省重大科技项目——《利用中国首台高山 CINRAD/SA 确立灾害性天气预测报的体系研究》课题。项目重点利用高山 CINRAD/SA 提供的丰富资料信息和预报产品,突出对高山 CINRAD/SA 数字化产品与数值预报模式相结合的开发应用,研制以高山 CINRAD/SA 为基础的具有定时、定点、量化的灾害性天气实时监测预报系统;建立福建省及其周边的粤东、赣南以及台湾海峡等地区的短时预报(警报)服务(发布)系统,课题组成员根据各自的研究分工,并结合业务实际,防灾减灾,人工增雨作业等工作,共撰写了 25 篇科技论文。这些研究成果充分展现了龙岩年轻的气象科技人员理论和实践相结合的风采,为我国天气雷达的应用勇于探索,获取了较好应用效果。为此,特汇编福建省重大科技项目《龙岩新一代天气雷达重大科研课题论文集》,以飨读者。

杨维生

2004 年 8 月

前 言

龙岩新一代多普勒天气雷达(CINRAD/SA)是我国首台高山 CINRAD/SA,是目前世界上最先进的、最精确的天气雷达系统。其监测特殊天气现象的能力比原有常规天气雷达系统大大增强。该雷达可以提供半径 460km 内的气象回波信息和半径 230km 内风速、谱宽信息,通过计算处理可以多路向终端用户提供 78 种气象产品,雷达探测资料以每 6 分钟一次全立体扫描、采集,并有晴空探测能力。采用多普勒技术可获得探测降雨区域内质点运动的特征信息,不仅可以得到降雨强度 dBz、分布、运动轨迹等信息,还可以得到降水或非降水以及晴空区域内风场的结构、特征、运动轨迹、途径、演变信息等。对雷暴、暴雨、龙卷、冰雹、台风等突发性、局地性气象灾害的监测、预报有很强的功能。但其各种产品的计算参数是依据美国天气特点而研制的,它不能准确诊断我国的灾害性天气,要充分发挥其效益还需本地化,就必需对其资料进行二次研发。为充分发挥高山 CINRAD/SA 在灾害性天气预测报的作用,福建省重大科技项目《利用中国首台高山 CINRAD/SA 确立灾害性天气预测报的体系研究》课题的研究开发,重点是利用高山 CINRAD/SA 提供的丰富资料信息,突出对高山 CINRAD/SA 数字化产品与数值预报模式结合的开发应用,研制出以高山 CINRAD/SA 为基础的预报业务系统,开发具有定时、定点、量化的灾害性天气实时监测预报系统;建立福建省及周边的粤东、江西赣南及台湾海峡等地区的短时预报(警报)服务(发布)系统,有效提高对重大灾害性天气的预测和预报能力,有效地为公众和各级政府提供准确的灾害性天气决策服务。

在研究过程中,课题组成员按照各自的研究内容,积极撰写各类科技论文 25 篇。其中,新一代天气雷达资料在强对流天气预报中的应用 6 篇;天气分型、物理量诊断 3 篇;新一代天气雷达资料在暴雨预报中的应用 4 篇;新一代天气雷达资料在三维风场反演中的应用 1 篇;新一代天气雷达在估测降水中的应用 1 篇;新一代天气雷达在探测台风中应用 3 篇;新一代天气雷达在人工增雨中的应用 6 篇;软件开发 1 篇。这些论文是研究人员在实际工作中应用新一代天气雷达的研究成果,具有较好的使用价值和应用效果。为此,特汇编福建省重大科技项目《龙岩新一代天气雷达重大科研课题论文集》一书,可供气象业务人员参考。

课题组

2004 年 8 月

课题参加人员

邱炳炎	张治洋	冯晋勤	张深寿
廖义樟	罗保华	谢孙炳	童以长
曾光平	罗小金	王新强	林若钟
李国景			

目 录

序言

前言

1	一次冬季降雹过程的 CINRAD/SA 回波特征	冯晋勤 罗保华 (1)
2	“03-04-13”强对流天气新一代天气雷达(CINRAD/SA) 回波特征	廖义樟 冯晋勤 王新强 (5)
3	新一代多普勒天气雷达观测对流天气的雷达回波特征 ...	冯晋勤 陈 冰 张深寿等 (10)
4	新一代天气雷达观测的福建夏季对流云特征	陈秋萍 冯晋勤 陈 冰等 (13)
5	新一代天气雷达资料在闽中南强对流天气预报中的应用 ...	冯晋勤 林若钟 肖秀珠 (19)
6	利用 CINRAD/SA 雷达产品监测强对流天气	刘 君 肖秀珠 (24)
7	闽赣粤地区 3~9 月强天气过程天气分型初探	廖义樟 林若钟 (28)
8	区域强天气物理量场诊断分析与预报	廖义樟 张治洋 罗小金等 (34)
9	0~12 小时强天气预警报系统研究	廖义樟 王新强 罗小金等 (40)
10	一次大暴雨过程的中尺度特征分析	夏丽花 陈德花 冯晋勤 (48)
11	新一代天气雷达资料在闽中南暴雨预报中的运用	冯晋勤 (53)
12	龙岩 2003 年 5 月 16~17 日大暴雨过程分析	罗保华 (58)
13	热带风暴“环高”后部螺旋云带暴雨分析	王新强 吴金福 (63)
14	新一代天气雷达资料在三维风场反演中的应用	冯晋勤 张治洋 刘 君 (68)
15	新一代高山雷达定量降水估测初探	罗保华 (71)
16	2001 年热带风暴“百合(Nari)”路径特征分析	冯晋勤 (76)
17	新一代天气雷达探测台风	张深寿 (80)
18	CINRAD/SA 自动定位有眼台风初探	张深寿 (84)
19	新一代天气雷达产品在人工增雨作业中的应用	陈 冰 张深寿 冯晋勤等 (90)
20	新一代天气雷达在人工增雨中应用的初步研究	陈 冰 张深寿 冯晋勤 (95)
21	2002 年 5 月 10 日闽西人工增雨新一代天气雷达的回波 特征分析	陈 冰 张深寿 冯晋勤 (100)
22	闽西南 05-14 人工增雨作业天气条件分析	廖义樟 (104)
23	2003 年夏季闽西人工增雨作业情况分析	冯晋勤 (108)
24	新一代天气雷达(INRAD/SA)PUP 的地图汉字化	张深寿 (111)
25	利用新一代天气雷达指挥 BL-1 型防雹增雨火箭弹系统进行人工增雨 浅谈	刘 君 (112)
	附:彩图	(117)

一次冬季降雹过程的 CINRAD/SA 回波特征*

冯晋勤** 罗保华

(福建省龙岩市气象台, 龙岩 364000)

提 要

利用新一代天气雷达(CINRAD/SA)对 2002 年 12 月 19 日一次冬季降雹观测资料进行分析, 从中得出冬季降雹的回波特征, 并对这次过程中出现的三体散射现象及相应的雷达产品做初步分析, 得出“三体”散射现象是降大雹的一项指示性标志以及降雹的一些雷达产品指标。

关键词: 新一代天气雷达(CINRAD/SA) 回波 冰雹 特征 三体散射

1 引 言

2002 年 12 月 19 日, 受冷暖空气共同影响, 闽南及粤东出现了冬季少有的雷暴强对流异常天气过程, 在 15:49~16:38BT(北京时), 福建省平和、诏安和广东饶平, 18:24~18:49 广东丰顺出现了明显的降雹过程, 其中诏安县秀篆镇出现 2cm 左右的冰雹, 饶平县北部山区有冰雹出现, 其中黄冈镇有 2cm 左右的冰雹, 丰顺县潘田镇出现了 2~3mm 的冰雹, 同时测站在 18 时 22 分出现飑线: 气压升至 1011.1hPa, 温度降至 18℃, 湿度达 96%, 风向由偏北风突转为西南风。在此次过程中龙岩新一代天气雷达连续开机跟踪, 取得了较为完整的回波资料, 本文对此次出现明显的降雹过程做系统的分析。

2 天气形势

从 12 月中旬初开始, 南支系统活跃, 孟加拉湾南支槽发展, 东亚为宽低槽控制, 高空多短波系统活动, 不断有小槽东移影响, 暖湿气流较强, 闽南粤东上空盛行西南气流, 温度回升。12 月 17 日西南倒槽强烈发展, 温度显著回升。

12 月 19 日前后地面有一股冷空气扩散南下, 14 时锋区位于福鼎、建阳、长汀、寻乌、梧州一带, 闽南及粤东处于锋前暖区内, 从 08 时形势(见图 1.1)可以看出: 850hPa 低空在湖南郴州附近有一低涡切变, 闽南、粤东处于切变南侧西南气流内, 500hPa 处于南支槽前, 西南急流发展强盛, 风速大于 20 米/秒。此次降雹属于南支槽型中的低空切变降雹^[1]。同时从 19 日 08 时的零度层高度在 600hPa 附近, -20℃ 层高度则在 400hPa 以下, 这都是有利于冰雹形成的天气条件^[1]。

* 该文章发表于《气象》2004 年第 5 期第 30 卷

** 冯晋勤, 1977 年出生, 大学本科, 工程师, 大气探测专业

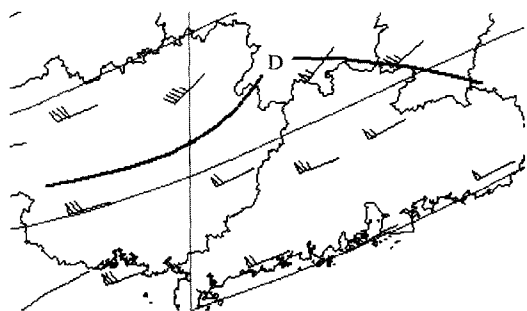


图 1.1 2002 年 12 月 19 日 08 时 850hPa 切变线及 500hPa 高空图

3 雷达回波特征

3.1 雷达回波特征

第一次冰雹过程:此次降雹过程发生在广东饶平、福建的诏安、平和,距本站约 100km,持续时间约 50min。产生此次降雹的风暴单体是从广东丰顺附近发展起来的局地对流单体中分离出来的,在整个东北偏东移过程中风暴基本以单体的形式出现,风暴后期几块对流体合并移入海上逐渐消亡。从组合反射率(38)产品可以看出,该风暴维持了近 5 个小时(15:13~20:02),强回波中心都在 50dBz 以上,强中心所在的高度都在 3km 以上,其中中气旋维持了两个体扫,风暴顶(风暴顶强度阈值为 30dBz)发展初期为近 6km,后基本维持在 8~10km 的高度上,回波顶高(回波顶强度阈值为 18.3dBz)除发展初期的四个体扫维持在 8~11km 外都在 11km 以上,可以看出回波顶高($H_{\text{顶}} - H_{30\text{dBz}}$)跌落小于 3km。此次降雹过程出现在 15:49 到 16:38,持续约 50min,15:49 BT 强中心达 60dBz,所在的高度由 3.6km 上升到 5.6km,回波顶高达 11.6km,在 16 时 13 分回波强度增大到 68dBz,16 时 38 分强回波中心的高度下降到 3.0km。

第二次冰雹过程:由于此次广东丰顺降雹离本站较远(约 170km),0.5 度仰角高度约 4.8km,1.5 度仰角高度达 7.2km,因此冰雹低层结构特征并不十分显著。该对流单体是从广东海丰局地发展起来的对流体中分裂出来的,在东北移过程中有小块单体合并,最后单体一分为二并逐渐消亡。该对流体的强度、回波面积和持续时间与前一对流单体比小得多。从组合反射率(38)产品来看,该风暴维持了近两小时(18:13~20:20),冰雹持续时间近半小时(18:25~18:49)。强回波中心由 18:19 BT 62dBz 增长到 18:37 BT 的 72dBz,到 18:49 BT 强回波强度减小到 63dBz,回波顶高基本维持在 9~11km。

3.2 冰雹垂直结构

第一次冰雹过程:大冰雹总是和超级单体紧密联系的,超级单体风暴内的上升气流强盛并且气流基本成竖直。在此次过程中,从不同仰角(0.5°、1.5°、2.4°、4.3°)的体积扫描图上可以看出,该风暴有明显的随高度向右倾斜的结构(见彩图 1.2,图中小十字为同一方位,回波位于测站 196°,约 109km 处)。同时从 16 时 13 分的垂直剖面图(见彩图 1.3)可以看出在 5km 高度 65dBz 强回波中心的下面有一相对的弱回波区存在^[3],说明此时风暴单体内的上升气流强盛并且垂直分量大,同时在 16 时 19 分的 0.5°风暴相对径向速度图(SRM)(见彩图 1.4,回波位于测站 196°,约 109km 处)上出现中气旋,这说明风暴单体内的气流在上升过程中还带有旋转,进一步促进了风暴发展成超级单体风暴。

每二次冰雹过程:由于低仰角所在的高度较高(4.8km),强回波最大值出现在 0.5° 仰角,所以在垂直剖面图中未观测到低层的弱回波区,但从不同仰角图(见彩图 1.5,图中小十字为同一方位,回波位于测站 216° ,约 170km 处)回波中可以看出强风暴随高度明显右倾,同时在高层 1.5° (高度约 7.7km)出现水平伸展的宽广的云砧^[3]。

3.3 “三体”散射现象分析

在此次冰雹过程中我们未观测到“V”型缺口和明显的钩状回波,但观测到三体散射(也称辉斑回波)现象,所谓的三体散射现象是指由于雷达能量在强反射率因子(回波很强)区向前散射而形成的异常回波^[2]。回波图上常呈类似细长的钉子状从强回波区沿径向伸展。它的径向速度很小,谱宽很大^[2]。出现三体散射现象是探测大冰雹的一个很好的指示性指标。

第一次冰雹过程:在此次冰雹过程中我们从反射率图及速度图均能观测到此现象。在 15:49 BT 1.5° 仰角(高度约 5.8km)的反射率图上首先出现该现象,此时强回波达 60dBz,随后在 0.5° 、 2.4° 仰角,即在 3.2~7.4km 的高度上也相继出现。此现象一直维持到 16:31 BT,长达 42min 之久。其中 16:25 BT 1.5° 仰角的反射率因子图(见彩图 1.2)最为明显:强回波中心达 68dBz,伸展的长钉约 21km。同时我们从速度图上也能反映该现象:16:25 BT 1.5° 仰角的基本速度图(见彩图 1.6)上表现为沿径向方向伸展出的径向速度接近零值区域。由于此次降雹主要在广东饶平北部山区和福建诏安与平和的交界处,降雹大小实况资料不全,从有记录的资料可以看出冰雹基本有 2cm 左右,WSR-88D 探测到三体散射时是降大雹(直径大于 2.5cm)的充分条件,在此次过程中基本得到验证。

第二次冰雹过程:在此次冰雹过程中我们同样观测到三体散射现象,在 18:25 BT 0.5° 仰角的约 5.0km 高度处回波强度达 67dBz,并出现“三体”散射现象,该现象持续到 18:49 BT,维持了 24min。其中 18:37 BT 0.5° 仰角的反射率因子图(见彩图 1.5)最为明显:有一约 14km 长的长钉,强回波中心达 72dBz。有关研究表明,出现“三体”散射说明该处有大冰雹,而在 7.0km(1.5° 仰角)以上的高度上未出现,说明缺少冰雹或只有冰雹的干增长。因此,此次过程冰雹发展的高度相对较低。

3.4 风暴相对径向速度(SRM)图分析

风暴相对径向速度是与基本速度相类似,它是从雷达速度测值中减去风暴运动的径向分量生成的,它能更好地展示涡旋或可能存在于被测速度场的中尺度气旋。所以可以用来探测被风暴运动掩盖掉的切变区域。

第一次冰雹过程:在此次冰雹过程中(15:49~16:38)利用该产品能很好的揭示风暴各层的运动情况。冰雹发展初期 15:43 BT 0.5° 仰角(高度 3.4km)已显示出弱辐合,此后辐合开始加强并出现旋转,同时向高仰角发展,到 16:19 BT 从 0.5° 度(高度 4.8km)到 2.4° (高度 6.9km)仰角图(见彩图 1.4,回波位于测站西南方约 109km 处)上都显示出气旋特性, 3.4° (高度 8.6km)则表现为辐散性气旋,到 4.3° 仰角(高度 9.4km)图上则显示出辐散特性,说明此时风暴内气流的上升运动强盛并伴有旋转,计算此时的风暴转动速度为 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,半径小于 10km,垂直延伸厚度大于 3km,按照中气旋识别的转动速度判据可知此时风暴可判别为弱的中气旋。在组合反射率图上也显示 16:13 BT、16:19 BT 有中气旋存在。此后风暴的旋转半径明显加大,气旋特性开始减小,16:38 BT 3.4° 、 4.3° 仰角图(见彩图 1.7)呈明显的辐散特性,低层则表现为辐合,说明风暴旋转高度明显降低。由于该风暴处于较强西南风的环境风场中,因此其速度图正负速度值并不对称,正速度与环境风相反,旋转速度则减慢,而负速度与环境风相同,旋转速度加快,其间的零速度线也不存在。同时与基本速度图比较可以看出,由于减

去了风暴的平均运动速度, 风暴相对径向速度能更好的反映风暴的一些切变特性。

3.5 垂直积分液态含水量(VIL)

VIL 是判别强降水及其降水潜力、强对流天气造成的暴雨、暴雪和冰雹等灾害性天气的有效工具之一。

第一次冰雹过程: 从垂直积分液态含水量产品中可以看出, VIL 值在降雹过程中都大于 $30\text{kg}/\text{m}^2$, 在 16:19 BT 达最大值 $40\sim45\text{kg}/\text{m}^2$ (见彩图 1.8), 到 16:38 BT 减小到 $30\sim35\text{kg}/\text{m}^2$ 。在此次降雹过程中, VIL 值比春、夏季出现对流天气时的 VIL 值偏小, 说明 VIL 值将随气团、季节和地理位置不同而异。

第二次冰雹过程: 从垂直累积液态含水量产品中可以看出, 风暴出现时 18:13 BT VIL 最大值为 $30\sim35\text{kg}/\text{m}^2$, 在 18:25 BT 出现跳跃达 $40\sim45\text{kg}/\text{m}^2$ (见彩图 1.9), 到 18:43 BT 减小到 $30\sim35\text{kg}/\text{m}^2$ 。在此次降雹过程中, VIL 值出现跳跃, 反映了冰雹粒子在生长区碰并长大。

4 结 论

(1) 此次降雹都发生在地面锋前的暖区内, 低层有一切变, 高层为西南急流。

(2) 在降雹过程中都出现了三体散射现象, 三体散射现象是降大雹的一指示性标志, 在这次过程中基本得到验证。

(3) 风暴相对径向速度(SRM)能揭示风暴运动情况: 气流的辐散、辐合及旋转, 对判断分析是否出现中气旋起了一定作用。

(4) 垂直积分液态含水量(VIL)出现大值对冰雹也有一定的指示性, 但其指标需根据不同季节而定。

(5) 组合反射率产品(CR)中的属性表对风暴的判别有一定作用。

参考文献

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 唐东昇. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992: 638~639
- [2] 新一代天气雷达原理与应用讲义. 中国气象局培训中心. 2000: 234~235
- [3] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学. 北京: 气象出版社, 2001: 362~363

“03-04-13”强对流天气 新一代天气雷达(CINRAD/SA)回波特征*

廖义樟** 冯晋勤 王新强

(福建省龙岩市气象局, 龙岩 364000)

提 要

利用天气图、卫星云图和龙岩新一代多普勒天气雷达(CINRAD/SA)产品资料,详细分析了2003年4月12~13日的冰雹、大暴雨回波发展演变过程及其回波特征,为新一代天气雷达探测资料分析和作好灾害性天气临近预报服务,提高CINRAD/SA产品资料在预报分析中的应用水平。

关键词: 冰雹 大暴雨 CINRAD-SA 回波特征

1 前 言

2003年4月12~13日受高空南支槽东移和低层低涡切变及地面锋区东移南压影响,12日下午闽北光泽、浦城、建阳、古田、屏南等地出现了冰雹、雷雨大风强对流天气。12日20时至13日20时华南北部粤北南雄降水量达133.0mm、赣南龙南145.9mm、安远167.3mm、寻乌120.6mm、闽西武平136.9mm、上杭107.6mm、龙岩103.2mm。沿25°N附近7个县市出现了大暴雨,且12日傍晚至13日凌晨大余的部分乡镇、南康、赣州等地先后出现降雹;寻乌、平远北部乡镇、武平的城关、中赤、中山、东留、万安、上杭的白砂、茶地等乡镇出现冰雹、雷雨大风等强对流天气(见图2.1)。造成了山洪暴发、山地滑坡、泥石流等灾害。

2 天气背景

2.1 天气系统

11日08时至12日08时500hPa高空南支槽位于重庆至贵阳西侧发展加深,到13日08时南支槽东移到重庆—贵阳—百色一带,14日08时已东移到汉口—桂林—南宁,华南北部受槽前西南急流影响。11日08时至12日08时低层850hPa低涡切变位于西南地区,低涡中心在贵阳附近,12日20时至13日20时低涡切变东移南压影响过程。地面图高源上有冷空气东移南下,12日14时地面冷空气前锋位于武夷山北部—赣中南—南岭北侧一带,闽北地区受锋区南压影响,到20时东段锋区南压、西段锋区维持在南岭北侧一带,地面锋面系统逐渐东移南压到华南北部呈近东西向维持影响,到13日14时华南静止锋逐渐南压,20时锋区在华南

* 该文章发表于2004年《广东气象》增刊

** 廖义樟,1957年生,高级工程师,气象专业。

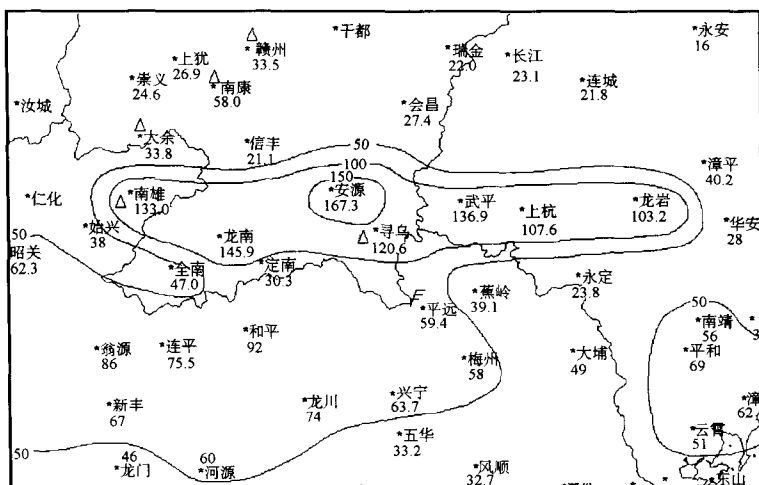


图 2.1 4 月 13 日华南北部强对流天气及大暴雨分布
(雨量等值线间隔 50mm)

沿海一带, 华南北部强降水已减弱。

11 日 08 时至 13 日 08 时 500~850hPa 中低空三层西南及偏南风急流轴在 $24^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ 、 116°E 以西地区的南岭一带叠置, 强对流天气发生前此地区对流层深厚, 有利强对流云团发生发展形成降雹天气的重要条件之一^[1]。

2.2 大气层结稳定度

从 T-lnp 图及其沿经、纬向作空间剖面图分析: 岭南取清远、连平探空站, 岭北取郴州、赣州探空站。12 日 08 时至 20 时岭北郴州上空大气层结由真潜不稳定型转为绝对稳定型, 赣州上空由稳定转为真潜不稳定, 大气不稳定层结东传, 自由对流高度由 700hPa 降至 850hPa 有利对流发生发展, 到 13 日 08 时赣州上空已转为稳定型。12 日 08 时至 13 日 08 时岭南清远上空大气层结为绝对不稳定型, 且 850hPa 以下有强西南偏南风辐合 (925hPa 南风 12m/s); 连平上空大气层结由稳定型转为真潜不稳定, 再转不稳定型。到 13 日 20 时清远上空转为稳定型, 连平上空不稳定层结已减弱。

Si 指数参数分析, 11 日 08 时 $\text{Si} \leq -2$ 不稳定区控制华南北部、江南东南部。12 日 08 时不稳定区维持在闽西西部及以西地区, 湘中南与赣西交界地区为 $\text{Si} \leq -4$ 不稳定区控制, 20 时 $\text{Si} < 0$ 不稳定区在华南中西部及闽东地区, $\text{Si} \leq -4$ 不稳定中心在梧州附近。13 日 08 时 $\text{Si} < 0$ 不稳定区沿 $23\sim 25.3^{\circ}\text{N}$ 附近的华南北部呈近东西向分布, 20 时已南压到华南沿海及海上。

3 华南北部大暴雨形成及云型特征

从自记雨量和卫星云图资料分析, 强降水主要集中在三个时段, 是在粤北湘南桂西北一带先后生成发展加强成 A、B、C 三个强对流云团东移影响 (见彩图 2.2) (北京时, 下同)。12 日 19:02 BT (北京时) 在粤北曲江、始兴西南方有一些小块对流云团向东北移动合并发展加强, 到 20:32 已在赣南发展呈椭圆形长轴东西向的强对流云团 A 东移影响赣南、闽西, 22:32 强区在寻乌上空云顶温度达 -73.3°C 。

在 A 云团西部的湘南至粤北又有若干小块对流云团在东移合并成 4 块中等强度的对流云, 其东移合并发展加强形成强对流云团 B, 其西南端不断有滋生发展的对流云并入 B 云团

内,使 B 云团发展成东西向长云带位于湘南粤北赣南地区,东移影响时间长雨量较大,23:32 强区在南雄云顶温度 -75.1°C ,13 日 00:25 强区在全南北部龙南上空云顶温度 -79°C ,01:32 强区主要在安远寻乌云顶温度 -79°C ,东移影响闽西出现强对流天气。

02:32 在桂林到宜章一带对流云团生成合并发展东移形成东西向弱云带,04:32 在弱云带西端即桂北的连南到湘南的江华一带对流云团发展迅速且强盛,05:32 东移合并发展呈长椭圆形的强云团 C,强区在乐昌到连州云顶温度 -79°C ,强区范围迅速增大,07:02 强云团 C 继续加强东移影响粤北及赣南,强区在南雄、全南、英德、韶关等地云顶温度 $-75.1\sim-81.2^{\circ}\text{C}$,30min 后增强到 -83.4°C ,主要影响粤东北雨量大,东移强度逐渐减弱,影响赣南及闽西出现强雷雨。

4 新一代天气雷达回波特征

4.1 闽北飑带回波发展演变

基本反射率因子 R 及组合反射率因子 CR 资料分析,12 日 10:43 前龙岩 CINRAD/SA 雷达探测到赣东北的玉山、上饶、弋阳、余干到南昌一带有不连续的对流回波带,对流单体向偏东移动,回波带逐渐东移南压过程。14:03 前在赣中地区到闽北的西部武夷山附近有对流回波群发展,对流单体向东北移动逐渐合并发展成东北至西南向的强回波带,14:41 龙岩雷达观测在贵溪强回波达 69dBz (14:31 建阳雷达观测贵溪强回波达 70dBz ,回波顶高 14km)。15:54 强回波带东移南压到广丰、资溪南部、光泽西部、南城、宜黄南部到泰和一带,强区在回波带的中南段且位于带的前沿,强核增强到 $60\sim63\text{dBz}$ 且强度梯度大,已发展成典型的飑线回波带^[2]。飑线回波带东移南压发展加强,16:06 强核强度 $\geq 65\text{dBz}$ (见彩图 2.3a),此时飑带强区影响南丰西部、南城东南部及光泽西部并继续东移南压,16:25 已发展成强飑带位于浦城北部、光泽、黎川、南丰到泰和一带,强中心在光泽(方位 3° 距 276km)强度 $65\sim70\text{dBz}$, 65dBz 强区面积增大为 18min 前的 10 倍以上(见彩图 2.3b),随后光泽地面降雹伴有大风天气(16:33 建阳雷达观测光泽一带 VIL 达 $72\text{kg}/\text{m}^2$)。强飑带东移南压影响浦城、建阳、建瓯北部降雹(回波强度 $65\sim70\text{dBz}$)。19:21~19:27 BT 强飑带回波已影响屏南县城出现雷雨天大风天气(回波强度 $\geq 55\text{dBz}$),继续东移南压影响强度有所减弱。

16:50 在强飑带前(南)方的沙县、南平、建瓯等地有对流回波群发生发展向东北方向移动与东移南压的强飑带合并趋势,17:19 此对流回波群已形成一条北东至南南西的短回波带,位于沙县、南平、建瓯、屏南到政和一带,17:37 短回波带已并入东移南压强飑带的前缘(见彩图 2.3c),且短带回波向东北移动转向偏东方向移动,此时在短回波带西南端位于南平的对流回波发展旺盛,回波强度 $\geq 55\text{dBz}$,它在东移过程中发展加强,18:20 已影响古田县城降雹,回波强度 $\geq 65\text{dBz}$ (建阳雷达观测 VIL 达 $55\text{kg}/\text{m}^2$,且在 1.5° 仰角速度图中有辐合出现),随后整体并入强飑带东移南压。

4.2 华南北部强对流回波特征

12 日 18:26 在粤北曲江西部对流回波发展向东北偏东移动,18:56 位于曲江、韶关对流回波强度 $\geq 35\text{dBz}$,到 19:45 对流回波已东移到始兴,回波开始分裂成南北两个分中心(见彩图 2.4a),北面强中心 $\geq 55\text{dBz}$ 向东北移动,南面强中心 $\geq 50\text{dBz}$ 向偏东移动,20:27 逐渐分离成南北两个独立的对流单体^{[2][3]}。20:46 北面回波强中心已影响赣南大余(见彩图 2.4b),强度 $\geq 65\text{dBz}$ 范围明显增大为雹云回波特征,20:52 雹云回波增强到 $\geq 70\text{dBz}$ (见彩图 2.4c),且 55dBz 强区面积增大为 18min(三个体扫)前的 15 倍,并继续向东北移动影响南康、赣州等地降

雹,降雹后能量释放,22时之后回波强度减弱很快;而南面一个回波强度50~55dBz(多单体)向东移动发展合并加强,21:36强区55dBz面积增大3倍以上,回波高度达14.6km,继续东移发展加强影响全南、龙南、定南、安远南部、寻乌西部等地出现强雷雨,回波高度17~18.6km,22:30强中心增强到 ≥ 65 dBz(见彩图2.4d),22:42速度图表现为中气旋,22:49强中心达70dBz,22:55垂直累积液态含水量(VIL)迅速增大到 $55\text{kg}/\text{m}^2$ (据本站资料统计,VIL大于 $50\text{kg}/\text{m}^2$ 时易出现冰雹),回波东南面有入流缺口,强回波东移影响寻乌西南部及平远北部降雹。降雹后回波强度逐渐减弱,东移影响武平南部、蕉岭北部、上杭南部有强雷雨,此时西部不断有对流回波生成发展东移。

20:39在西面湘南宜章南部有对流回波东移发展进入粤北乐昌、仁化,21:16已发展加强到50dBz,21:59起对流回波又开始分裂成南北分中心,北面对流回波进入湘南汝城强度40dBz,回波向东北移动逐渐发展加强,影响桂东、上犹、遂川、泰和等地有强雷雨;南面对流回波强中心在乐昌、仁化强度 ≥ 50 dBz(多单体),回波东移合并发展加强,23:01影响南雄强度 ≥ 60 dBz。13日01:15~39分对流回波东移影响安远等地,为多单体合并的对流复合体,强区 ≥ 50 dBz在安远、会昌南部、武平北部形成一条短带(见彩图2.5a),02:35已东移影响武平出现冰雹、雷雨大风等强对流天气,强中心在武平南部强度70~75dBz,55dBz强区向前突出呈弓状回波^[2](见彩图2.5b),抬高仰角1.5度时强回波有向东南方开口的入流缺口(弱回波区),仰角2.4度时入流缺口填塞,低空入流缺口持续到02:48分;但仰角1.5度55dBz强区有涡旋结构,仰角2.4度呈逗点状反气旋性弯曲,强中心在逗点上(见彩图2.6),仰角4.3度时反气旋性弯曲略减弱。02:35反射率因子R沿264度方位径向剖面(RCS) ≥ 55 dBz回波高度9km,65dBz强回波高度7.5km呈倒“V”型,入流缺口最深约4.5km;同一时间不同方位RCS图65dBz强回波高度6km呈梭状,70dBz回波墙高约4.5km,强核75dBz在中空3.5~4km高度上,强回波在中空呈悬挂回波,是典型的雹云回波特征(见彩图2.7)。02:42BT VIL增大到 $55\text{kg}/\text{m}^2$,02:35低仰角0.5度的风暴相对径向速度图在武平南部中低层有气旋性旋转,径向速度剖面图分析低层南部有气旋性辐合,高层有反气旋性辐散(见彩图2.8)。03:01强回波开始影响上杭城关出现强雷雨,部分乡镇出现冰雹、雷雨大风强对流天气,03:55强回波东移影响龙岩出现强雷雨,强度50~55dBz,速度图分析龙岩上空有一切变线。回波东移受博平岭山脉地形影响强度减弱,越过山脉后回波再度逐渐加强,东移影响东部地区。西部不断有对流回波发展东移,05:27上杭有一条南北向的回波短带,在速度图中上杭东部至龙岩西部出现逆风区现象(见彩图2.9);06:09在龙岩和上杭各有一条50dBz强区呈近南北向的回波短带影响(见彩图2.5e),其东移过博平岭山脉时强度减弱,越过山脉后回波再度发展,08:05回波东移到永春西部时,50dBz强区为南北向的两条回波短带,距离逐渐靠近(见彩图2.5f),08:35东移过永春已形成“人”字形强回波带(见彩图2.5g),强中心在“人”字形回波带的顶点上,回波强度 ≥ 65 dBz,回波顶高14km;09时前后东移影响仙游,50dBz强回波区呈弓状(见彩图2.5h)。

华南北部大暴雨过程,是天气系统东移南压到南岭一带维持影响。龙岩CINRAD/SA雷达探测,12日下午东北至西南向的对流回波带逐渐东移南压,到夜里对流回波带形成近东西向维持在华南北部地区,且在对流回波带西端的粤北湘南一带不断有对流回波生成发展沿着25°N附近向偏东移动,对流单体移向与回波带走向基本一致^[2],造成自西向东一次次接踵而来的强降水影响形成大暴雨。

5 结 语

(1)中低层西南偏南风急流叠置作用及切变线上的低涡环流,构成了有利强对流云团发生发展的形势背景,低空强西南偏南气流辐合和冷空气南压影响是强对流天气产生的触发机制,大气层结不稳定,底层强南风输送暖湿空气提供了水汽来源又引起地面增温减压作用,为雹云发展提供了有利条件。

(2)华南北部强对流及暴雨的云型特征是在桂东北湘南粤北一带先后有若干小块对流云生成合并发展加强成 A、B、C 三个强对流云团接踵东移影响的;龙岩 CINRAD-SA 产品资料分析,在西部的粤北湘南一带不断有对流回波生成发展沿着 25°N 附近东移动影响,对流单体回波移向与回波带走向基本一致,造成自西向东一次次接踵而来的强降水影响形成大暴雨。

(3)闽北强对流天气是飑线回波带东移南压,强对流回波发展加强形成强飑带产生降雹大风天气;飑线回波带东移南压,其前(南)方有对流回波(带)并入,使飑线回波带继续发展加强影响下游地区。

(4)华南北部强对流天气 CINRAD/SA 回波特征有:低空入流缺口(弱回波区)、弓状回波、涡旋结构及逗点状反气旋性弯曲、“人”字形强回波带、RCS 强回波呈悬挂、梭状结构及倒“V”型,逆风区、中气旋、零速度线折角等,降雹云的 VIL 增大到 $55\text{kg}/\text{m}^2$ 。

(5)对流回波在粤北附近生成发展过程,多次形成分裂成南北分中心的单体,北面回波发展向东北移动影响,南面回波发展向偏东移动影响。其对流单体回波的分裂与单体内部水平涡旋运动密切相关,这种涡旋运动是在环境风切变之下产生的;12 日 20 时的环境风场 925hPa 岭南清远南风 $12\text{m}/\text{s}$ 、岭北郴州东风 $4\text{m}/\text{s}$,底层有明显的风场垂直切变。加上地形作用,韶关附近是北江北段河流的三叉地域,周围有山地,尤其在北面和东面的山地,使南面强南风沿北江北上在此气流抬升作用促使涡旋运动,是本次观测对流回波在此重复出现分裂的因素。

(6)雷达探测资料分析在武平附近的雹云回波低空有气旋旋转,入流气流辐合上升,7km 以上高层有反气旋性气流辐散,雹云内形成强垂直风切变是对流发展及维持的必要条件,其有利东移影响武平及上杭等地出现冰雹大风强对流天气。对流回波东移过高大的博平岭山脉地形时,回波强度减弱,越过山脉后继续东移,回波再度发展加强影响东部地区。

(注:龙岩 CINRAD/SA 站址在海拔近 1500m 的高山上,最低仰角 0.5° 的资料;闽北强飑带在龙岩 CINRAD/SA230km 以外。)

参考文献

- [1] 廖义樟. 闽西“92·4·21”冰雹暴雨成因分析. 福建气象(科技版), 1993, 1: 18~20
- [2] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕编著. 雷达气象学. 北京: 气象出版社, 2000·11: 383~386, 411~425
- [3] 俞小鼎等编著. 新一代天气雷达原理与应用讲义. 中国气象局培训中心, 2000·12: 158~245

新一代多普勒天气雷达(CINRAD/SA) 观测对流天气的雷达回波特征*

冯晋勤 陈 冰 张深寿 李国景

(龙岩市雷达站 364000)

春、夏季是午后强对流天气的多发季节,应用新一代多普勒天气雷达丰富的产品,能较全面的观测对流天气的雷达回波特征。下面就选取 2001 年 8 月 6 日发生在我省永安市的一次强对流天气进行分析。在这次过程中,该站出现雷暴、强降水、大风等强对流天气,并且从 14:51 BT(北京时)到 16:10 短时过程雨量达 31.3mm。

对流天气中的对流单体发展的强弱及其移向移速和周围环境的热力和动力的有密切的关系。根据云中盛行的垂直速度的大小和方向,一般可把单体的生命史分为三个阶段:积云阶段、成熟阶段和消散阶段。在这三个阶段雷达回波强度、径向速度及增长方式都有明显的差别,通过分析雷达回波的特征可以对对流单体的发展过程有较全面地了解。

1 从基本产品观察对流单体发展的三个阶段

1.1 积云阶段

在这个阶段,云中大气均作上升运动,上升速度一般随高度增加,并且直到这个阶段结束。这种上升气流主要由局地暖空气的正浮力或从低层辐合引起的。由于云中充满上升气流,生成的雨滴、水滴和雪花等被上升气流托住不会降到地面,当水滴等达到一定的大小和浓度时,就出现初始的雷达回波。初始回波的水平尺度约为 1km,垂直尺度略大于水平尺度,回波顶一般在 $-4\sim-16^{\circ}\text{C}$ 之间的高度上,回波底约在 0°C 的高度上。初始回波形成后,回波开始向上向下同时增长,增长速度约为 $2\sim9\text{m/s}$,平均 4m/s 左右。先以向上增长为主,达到 -30°C 高度后,向上增长减慢,向下增长迅速加快,但回波不及地。这个阶段,在垂直方向上雷达回波的强中心一般在云体的中上部。

实例分析:14:36 BT(见彩图 3.1)在永安西北面出现初始回波,初始回波首先出现在 1.5 度仰角约 5km 的高度上,强回波约为 30dBz,从左图 AB 所做的切面(右图)可以看出回波的水平尺度不大,垂直尺度大于水平尺度。回波顶高度约为 8km 左右(我站高度为 1.5km,故实际回波顶高度为 $6.5+1.5=8\text{km}$),回波底高度约为 4km 左右。

14:48 最大回波强度已经增长到 58dBz(见彩图 3.2),同时回波向上向下增长,向上已增长到 11km 左右,强中心所在的高度为 5.5km。由于随雷达探测距离增加,离地面的高度也相应增加,永安距雷达站 99km,用 0.5 度仰角探测时相应的高度已达 3km 左右,因此雷达回波

* 该文章发表于《气象》2001 年第 27 卷

是否及地判断不出。但从其它特征可判断出该对流云处在积云阶段。

1.2 成熟阶段

在雷暴单体的成熟阶段,云内垂直运动的主要特征是同时存在上升气流和下沉气流,至少在单体的中下部是如此。

一般成熟阶段的开始是以雨最初从云底降落为标致。从雷达回波上看则是以雷达回波及地为标致。这时云中上升气流达到它的最大值,随着降水过程的开始,形成了下沉气流,这种现象出现在云中冻结高度附近雨滴最初出现的地方。因为云中大量的降水质点在下降时破坏了上升运动,所以在雷达强回波中心的高度迅速下降,并逐渐接近地面。此时,往往会出现阵风锋、雷暴、强降水等天气现象。在成熟阶段,雷达回波上能显示出雷暴的云顶在对流层顶附近向水平方向扩展出现水平伸展的云砧,这种云砧回波可达几十公里到上百公里。

实例分析:14:54(见彩图 3.3)回波强度继续增强,强回波已增长到 63dBz,相对应在不同仰角(对应不同高度)的速度图(见彩图 3.4)中也可看出气流的上升下沉运动,在 0.5 度仰角的速度图中可以看出在强回波的右前方出现辐散气流,1.5 度仰角(高度 5km 左右)则为辐合气流,2.4 度(高度 6km 左右)为弱的气旋性辐合,3.4 度(高度 8km 左右)则为弱的气旋性辐散。同时从当时地面观测资料看地面降水从 14:51 开始,并出现大风、雷暴等强对流天气。15:06(见彩图 3.5)强回波增大到 67dBz,15:12(见彩图 3.5)回波开始减弱,强回波中心高度由 8.5km 下降到 6.5km,并逐渐接地。

从不同时刻的回波图还可以分析出,对流云体不断地沿盛行风向西北风的右下方发展传播的,同时从不同的仰角还可分析出对流单体的结构,回波随高度向低层入流一侧伸展,显示出对流云体的倾斜结构。

1.3 消散阶段

降水发展到整个对流云体时,下沉气流逐渐扩展到整个云体,上升气流源地消失,这时对流单体就处于消散阶段。在雷达回波上表现为:回波强中心由较高的高度迅速下降到地面附近,回波垂直高度迅速降低,回波强度减弱,并分裂消失。

实例分析:15:18(见彩图 3.6)回波继续减弱,强回波中心高度下降到 5.5km,15:42(见彩图 3.6)强回波中心已减小到 50dBz,强回波中心高度下降到 3.5km。到 16:01(见彩图 3.6)对流单体减弱消亡。

2 由导出产品分析对流发展过程

2.1 垂直累积液态含水量(VIL)

我们知道有利于形成强对流的局地环境条件有:热力稳定度、垂直风切变和水汽垂直分布三类。前两种应根据探空资料进行判断,在这主要讨论后一种——水汽垂直分布。由于雷暴形成时有大量的水汽在上升气流中生成。而且研究表明,在一般的雹云中都存在含水量达 $10\text{g}/\text{m}^3$ 的大范围区域。下面通过分析垂直液态含水量(VIL)产品来定位强雷暴。

VIL 产品是根据公式: $M = 3.44 \cdot 10^{-3} Z^{4/7}$ (M 为液态含水量, Z 为雷达反射率因子)计算后进行垂直积分得出的。VIL 输出的是单位面积的质量(kg/m^2)。该算法假设反射率因子为液态水粒子散射产生的,因此强反射率因子对应的含水量也大。下面三张图分别代表对流发展三个阶段的垂直液态含水量,在 14:42(因子见彩图 3.7)开始含水量逐渐增大,在 15:06(见彩图 3.7)时达最大值 $55\text{kg}/\text{m}^3$,随后含水量开始减小,到 16:01(见彩图 3.7)已减小到 $5 \sim 10 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。